第 37 卷第 4 期 2017 年 2 月 | 生　态　学　报 ACTA ECOLOGICA SINICA | Vol.37, No.4 Feb., 2017

DOI: 10.5846/stxb201603300578

杨帆, 安丰华, 马红媛, 杨洪涛, 王志春.松嫩平原苏打盐渍化旱田土壤表观电导率空间变异.生态学报,2017,37(4):1184-1190.

Yang F, An F H, Ma H Y, Yang H T, Wang Z C.Spatial variations of apparent soil electrical conductivity in the saline-sodic upland soil of the Songnen Plain.Acta Ecologica Sinica,2017,37(4):1184-1190.

松嫩平原苏打盐渍化旱田土壤表观电导率空间变异

杨　帆, 安丰华, 马红媛, 杨洪涛, 王志春*

中国科学院东北地理与农业生态研究所,长春　130102

摘要:在松嫩平原西部吉林省大安市乐胜乡,于 2013 年 4 月 20 日选择盐碱程度不均一的典型盐渍化旱田地块,面积为 4.8 hm^2 作为研究样地。利用 EM38 大地电导率仪测定结合田间定点采样,并通过经典统计和地统计相结合的方法研究了盐渍化旱田土壤表观电导率空间变异特征,分析了土壤表观电导率与土壤盐碱指标之间的关系。结果表明,盐渍化旱田土壤水平方向表观电导率(EC_h)经对数转换后具有强空间自相关,其变异特征主要是与地形地貌和水文状况等结构性因素有关。垂直方向表观电导率(EC_v)经对数转换后具有中等空间自相关性,其变异特征受结构性因素和随机因素共同作用。EC_h和 EC_v半方差模拟的最优模型分别为球状模型和指数模型。Pearson 分析表明土壤表观电导率(EC_h和 EC_v)与土壤盐碱指标 $EC_{1:5}$、$pH_{1:5}$、SAR、SC、Na^+、CO_3^{2-}、HCO_3^- 呈正相关关系(P<0.05),EC_h与土壤盐碱指标相关系数均大于 EC_v。在实际应用中可以用 EC_h来指示土壤的盐碱程度。回归分析表明土壤表观电导率(EC_h和 EC_v)与土壤盐碱指标呈线性相关,且 EC_h回归模型的决定系数均大于 EC_v回归模型的决定系数,可用水平方向土壤表观电导率(EC_h)来计算土壤盐碱指标,进行土壤盐渍化的快速评估。

关键词:土壤表观电导率;空间变异;地统计;盐渍化旱田;松嫩平原

Spatial variations of apparent soil electrical conductivity in the saline-sodic upland soil of the Songnen Plain

YANG Fan, AN Fenghua, MA Hongyuan, YANG Hongtao, WANG Zhichun*

Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, *China*

Abstract: A representative saline-sodic area measuring 300 m× 160 m was investigated to determine the salinity and sodicity levels in Lesheng Town, Da'an City, Jilin Province, northeast China on April 20, 2013. Apparent soil electrical conductivity was measured using EM38 (electromagnetic induction) and GPS, and its spatial variability was studied by using classical statistics and geostatistics. Correlations between apparent soil electrical conductivity, including apparent soil electrical conductivity in horizontal direction (EC_h) and apparent soil electrical conductivity in vertical direction (EC_v), and salinity-sodicity parameters, including soil ions, $EC_{1:5}$, $pH_{1:5}$, sodium adsorption ratio (SAR), and soil salinity content (SC) were analyzed in the saline-sodic upland soil of the Songnen Plain. The results indicated a moderate spatial variability for EC_h and EC_v in classical statistics. Frequency distributions and the Kolmogorv-Smirov test for normality showed that EC_h and EC_v were not normally distributed (P<0.05). Therefore, mathematical transformations were performed to convert the data to fit the normal distribution, which is a prerequisite for calibration of the theoretical model and generation of semivariogram parameters and kriged maps. After log-transformation, EC_h and EC_v showed normal distributions. The results of geostatistical analyses indicated that EC_h has a strong spatial variability and dependence, and the spatial distribution of EC_h is affected by structural factors, which might include topography, hydrology, and climatic

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2015CB150802);国家重点研发计划资助项目(2016YFC0501200);国家自然科学基金资助项目(41071022,41571210)

收稿日期:2016-03-30;　　**修订日期:**2016-09-09

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wangzhichun@neigae.ac.

factors. However, EC_v had a moderate spatial variability and dependence, and the spatial distribution of EC_v was jointly affected by structural and random factors. Empirical semivariograms for EC_h were simulated by spherical models, but those of EC_v were simulated by exponential models. The results of a Pearson correlation showed five indexes of salinity-sodicity parameters ($pH_{1:5}$, $EC_{1:5}$, SAR, SC, Na^+) were significantly correlated with EC_h and EC_v ($P<0.05$). The correlation coefficients between EC_h and five salinity-sodicity parameters were higher than that between EC_v and five salinity-sodicity parameters. A stepwise regression analysis revealed that the regression prediction models with EC_h and EC_v could explain most of the variations of the soil salinity-sodicity parameters. The regression prediction models between apparent soil electrical conductivity and five salinity-sodicity parameters were linear. The determination coefficient of EC_h was higher than that of EC_v. Therefore, the apparent soil electrical conductivity in a horizontal direction could be used to calculate the index of the parameters of soil salinity-sodicity and to indicate soil salinity-sodicity in practical applications.

Key Words: apparent soil electrical conductivity; spatial variation; saline-sodic upland soil; EM38; Songnen Plain

松嫩平原苏打盐渍化旱田面积约 80 万 hm^2,主要以轻、中度盐渍化为主。土壤空间分布上表现为盐渍化程度存在较大的空间异质性[1],土壤盐渍化的空间异质性导致了盐渍化旱田作物产量具有较大差异。尤其是旱田中存在盐渍化程度较高的盐碱斑块,增加了农田耕作和作物种植的难度,多年来一直是“种地不见苗”。盐渍化旱田土壤的这种不均一性,严重影响了当地的农业生产,极大地限制了盐渍化旱田的大面积利用和机械化管理,是限制该区旱田作物高产的主要障碍因子[2]。因此分析苏打盐渍化旱田土壤盐渍化空间分布特征,实现盐渍化程度快速诊断和土壤盐渍化空间异质性评价,提出有针对性的改良和管理措施,对于提高当地农业粮食产量和保持农业可持续发展具有重要的理论和现实意义。

盐渍化旱田土壤改良目标是耕层土壤盐渍化指标达到作物正常生长范围。就一具体田块或区域而言,要实现大规模盐碱地农业高产高效,必须解决耕层土壤盐渍化空间异质性问题。诸多学者开展了土壤盐渍化性质的空间变异研究[3-5],提出了针对土壤性质空间差异实施有针对性的管理技术[6-8]。有研究发现,土壤表观电导率与盐渍化程度等理化性质密切相关,并用土壤表观电导率指示土壤性质空间变异,指导田间灌排等管理[9-10]。因此,土壤表观电导率作为一种非扰动、快速、可靠、操作简单的土壤田间实时测试参数,已经逐渐被广泛应用,成为精准农业研究的重要工具[4,11]。针对不同盐碱地类型,建立土壤表观电导率与土壤盐碱性质相关方程,并将盐碱空间分布特征与田间土壤改良、水肥管理等农艺技术紧密结合,形成精准化管理技术是国际上研究的热点[7,9]。然而以往研究主要集中在氯化物盐渍土区[12]。由于氯化物盐渍土的土壤特性与苏打盐渍土完全不同,其表观电导率所指示的盐碱指标也完全不同。苏打盐渍土旱田空间变异研究报道较少,仅利用经典统计方法研究旱田空间变异[13],该方法对空间变异研究具有较大的随机性。如何通过方便、快捷的土壤表观电导率测定,对苏打盐渍土旱田盐碱空间异质性进行定量表征,是盐渍化旱田精准管理的关键问题。因此,本研究采用磁感应电导率仪(EM38)对典型苏打盐渍化旱田土壤表观电导率进行监测,利用地统计方法量化土壤盐碱的空间变异特征,并结合定位采样,建立苏打盐渍土壤表观电导率与土壤盐碱化指标方程,对松嫩平原苏打盐渍化旱田盐碱程度进行快速诊断,将空间变异理论与盐碱地改良实践相结合,实施局部清除或降低土壤盐碱危害,实现苏打盐渍土均质化改良和利用,对于扩大有效耕地面积具有重要现实意义。

1　研究区与研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于松嫩平原吉林省西部大安市乐胜乡。地理坐标为 123°21′31″—123°40′58″E,45°26′28″—45°29′27″N。该区盐渍土广泛分布,土壤属内陆型苏打盐渍土,盐分组成中以苏打($NaHCO_3$与 Na_2CO_3)为主,pH 值多在 8.5 以上,是松嫩平原轻度和中度盐渍化低产旱田的典型分布区。土壤类型为壤土和壤黏土。该区属于中温带大陆性季风区,多年平均降水量 413 mm,年蒸发量较大,为降雨的 2—3 倍。年均气温 4.3℃,无霜期

约 140 d[14]。

1.2 方法与试验设计

选取盐碱程度不均一的苏打盐渍化旱田典型地块作为调查小区。小区长 300 m，宽 160 m，面积为 4.8 hm^2。利用 GPS 和 EM38 大地电导仪相结合，将调查小区的盐碱旱田画成网格，网格大小为 20 m×20 m，在网格节点设定观测点，作为土壤表观电导率的观测点，共 144 个观测点。本研究采用 EM38 电导仪（加拿大 Geonics 公司）对调查区的表观电导率进行测定。EM38 利用电磁感应的原理，可以实现非接触地快速精确测量土壤的电导率。它有两种探测模式，垂直偶极模式的探测深度达 1.5 m，水平偶极模式的探测深度达 0.75 m。依此测得的土壤表观电导率也分为垂直方向电导率和水平方向电导率[15]。

调查在 2013 年 4 月 20 日进行。在调查区内，充分考虑不同土壤表观电导率的空间分布，使样点在调查区内合理散布的原则下，利用 GPS 定位，在土壤表观电导率的监测点上共布置了 46 个测试点，采集土壤样品，测定土壤样品的盐碱指标。土壤取样点的取样深度为 0—30 cm。对土壤样品进行室内分析，采用 1:5 土水比例浸提液，测定土壤可溶性盐分离子（K^+，Na^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，CO_3^{2-}，HCO_3^-，SO_4^{2-}，Cl^-），土壤可溶性离子总量（SC），$EC_{1:5}$ 和 $pH_{1:5}$[16]，计算土壤钠吸附比（SAR）[17]。其中 SAR 计算公式如下：

钠吸附比（SAR）是溶液中 Na^+ 离子同 Ca^{2+}、Mg^{2+} 离子的平均浓度的平方根的比值，即

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{([Ca^{2+}]+[Mg^{2+}])/2}} \tag{1}$$

式中，Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 离子浓度单位为 mmolc/L，SAR 的单位为 $(mmolc/L)^{1/2}$。

1.3 数据处理方法

样本的描述性分析采用 SPSS 11.5 软件进行，用 Kolmogorov-Smirnov（K-S）检验数据是否呈正态分布；半方差函数应用地统计学处理软件 GS^+ for windows 5.3b 进行计算。首先在 GS^+ 软件中对不符合正态分布的数据源进行对数转换；其次进行半方差函数的计算、模拟、分析和检验；利用 Surfer 软件进行 Kriging 插值，生成 2 维空间分布图。

2 结果与分析

2.1 经典统计分析旱田土壤盐渍化空间变异

2.1.1 土壤表观电导率统计特征

EC_h 和 EC_v 分别为水平和垂直方向测定的土壤表观电导率。水平方式敏感程度在地表最高，并随深度降低。垂直方式在近地表敏感程度很低，随深度增加，敏感程度增高。用 EC_h/EC_v 反映两种方式在近地表敏感程度的区别。如果水平方式的读数大于垂直方式的读数，即（EC_h/EC_v）>1，说明近地表土壤盐碱大于下层土壤盐碱。如果两种方式的读数相差很小，说明土壤剖面盐碱较一致。由表 1 可知，EC_h 最大值为 74 mS/m，是最小值的 18 倍。而 EC_v 最大值为 64 mS/m，是最小值的 6 倍。EC_h 和 EC_v 均值分别为 15.9 mS/m 和 23.5 mS/m，说明该调查区以轻度盐渍土为主，在轻度盐渍土上分布着中、重度盐渍土斑块。由表 1 可知，调查区土壤表观电导率 EC_v 的平均值为 23.5 mS/m，较 EC_h 高。从 EC_h 和 EC_v 的比值可知，其均值为0.63，标准偏差为0.16，说明调查区域土壤表层的电导率小于深层土壤电导率，说明该区深层盐碱高于表层盐碱。变异系数（CV）反映相对变异，即随机变量的离散程度。已有研究将空间变异系数分为弱空间变异（CV≤ 0.1），中等空间变异（0.1<CV<1）和强空间变异（CV≥1）[18]。调查区中 EC_v 和 EC_h 的变异系数范围为 0.1 <CV< 1，为中等空间变异。EC_v 的变异系数为 0.31，较 EC_h 小 0.24，说明表层土壤盐渍化空间变异大于深层土壤盐渍化空间变异。因此，在生产实践中，应主要评估表层土壤（作物根区土壤）盐碱空间分布，将不同盐碱化土壤进行定位分区，有针对性的降低根区土壤盐碱。同时，应注意盐渍化旱田的田间管理，防止深层土壤盐碱向上运移，造成表层土壤盐碱加重，影响作物产量。

表 1　调查小区表观电导率统计特征值

Table 1　Descriptive statistics on apparent soil electrical conductivity in the experiment land

项目 Parameter	测定数 Number	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数 CV
EC_h/(mS/m)	144	4	74	15.9	11.4	0.55
EC_v/(mS/m)	144	10	64	23.5	11.2	0.31
EC_h/EC_v	144	0.31	1.16	0.63	0.16	0.25

EC_h:水平方向土壤表观电导率,apparent soil electrical conductivity in horizontal direction;EC_v:垂直方向土壤表观电导率,apparent soil electrical conductivity in vertical direction

2.2　地统计分析旱田土壤盐渍化空间变异

2.2.1　盐渍化旱田土壤表观电导率的半方差分析

地统计方法有效的前提是数据服从正态分布。因此,数据必须进行正态分布检验。由表 2 可知,通过 Kolmogorov-Smirnov 法对土壤表观电导率分布进行正态检验(P<0.05,2-tailed),发现水平方向和垂直方向土壤表观电导率均不符合正态分布,对 EC_v和 EC_h进行对数转换,转换后 EC_h(P=0.338)、EC_v(P=0.119)均符合正态分布,满足地统计学分析的要求,可以用地统计学的方法来定量化研究土壤表观电导率的空间变异。变异函数计算均采用对数转化后的数据。

表 2　土壤表观电导率正态分布 K-S 检验

Table 2　Test of apparent soil electrical conductivity normal distribution by K-S check

项目 Parameter	测定数 Number	分布类型 Distribution types	偏差绝对值 Absolute value of deviation	K-S Z	Sig 2-tailed
EC_v/(mS/m)	114	对数正态	0.099	1.188	0.119
EC_h/(mS/m)	114	对数正态	0.078	0.941	0.338

在半方差模型模拟过程中,最优模型要求残差平方和(RSS)最小,同时决定系数(R^2)最大。由表 3 可知,综合考虑半方差指标,球状模型为 EC_h的半方差模拟最优模型。而 EC_v半方差模拟的最优模型为指数模型。由于模型的块金值均较小,该模型受实验误差等随机性因素影响较小。对于 EC_h有效变程为 91.9 m,观测值之间大于 91.9 m 时,观测值是相互独立的,而观测值之间在 91.9 m 以内存在着空间自相关。EC_v的有效变程较 EC_h大,有效变程为 198.9 m,说明观测值之间大于 198.9 m 时,观测值是相互独立的,而观测值之间在 198.9 m 以内存在着空间自相关。由块金值与基台值之比可知,当比例>75%时,说明变量具有弱空间自相关;比例在 25%—75%之间,变量具有中等空间自相关;当比例<25%时,变量具有强空间自相关[19]。EC_h半方差模型的块金值与基台值的比值为 6.5%(< 25%),说明变量具有强空间自相关,即水平方向土壤表观电导率 EC_h主要由地形地貌和水文状况等结构性因素引起的空间变异。而 EC_v半方差模型的块金值与基台值的比值为 47.8%(在 25%—75%之间),因此变量具有中等的空间自相关,即垂直方向土壤表观电导率 EC_v的空间变异是由结构性因素和随机性因素共同影响的。因此,对旱田土壤盐渍化程度评估时,应选用水平方向土壤表观电导率 EC_h作为评估指标,来研究盐渍化空间变异特征,分析地形地貌和水文状况等结构性影响因素与土壤盐渍化的关系,进而实现对盐渍化旱田有针对性的改良。

表 3　对数转换后土壤表观电导率半方差值及参数(n=144)

Table 3　Variational function theory model and structure parameters of apparent soil electrical conductivity after logarithmic transformed (n=144)

项目 Parameter	模型 Model	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill C_0+C	有效变程 Range/m	块金/基台 C_0/C_0+C	决定系数 R^2	残差平方和 RSS
EC_h	球状	0.0019	0.004	91.9	0.065	0.886	1.986×10^{-7}
EC_v	指数	0.0025	0.038	198.9	0.478	0.832	2.453×10^{-5}

2.2.2 基于 Kriging 插值的盐渍化旱田表观电导率空间分布

依据半方差函数模拟模型，应用克立格法（Kriging）进行插值，绘制经对数转换后的土壤表观电导率 EC_v 和 EC_h 的空间分布图，见图 1。经对数转换后的水平与垂直表观电导率 EC_h 和 EC_v 空间分布非常相似，均表现为不同表观电导率的土壤呈条带状或斑块状镶嵌分布。试验小区土壤水平和垂直方向均表现为西北和南部各有一较大条带状的高盐碱分布区，另在东北和北部中间各有一较小的高盐碱分布区。而在调查区的中部和东南部有斑块状的低盐碱区。盐渍化旱田地表呈现微地貌特征，盐碱严重的区域地势稍高，无作物生长，为光板地；地势稍低区域盐碱化程度稍高，作物产量较低；在调查区最低部位，为轻度盐渍化和非盐碱化区，作物长势良好。因此土壤盐渍化程度的不同直接影响作物长势，使作物产量表现为极大地不均匀性。

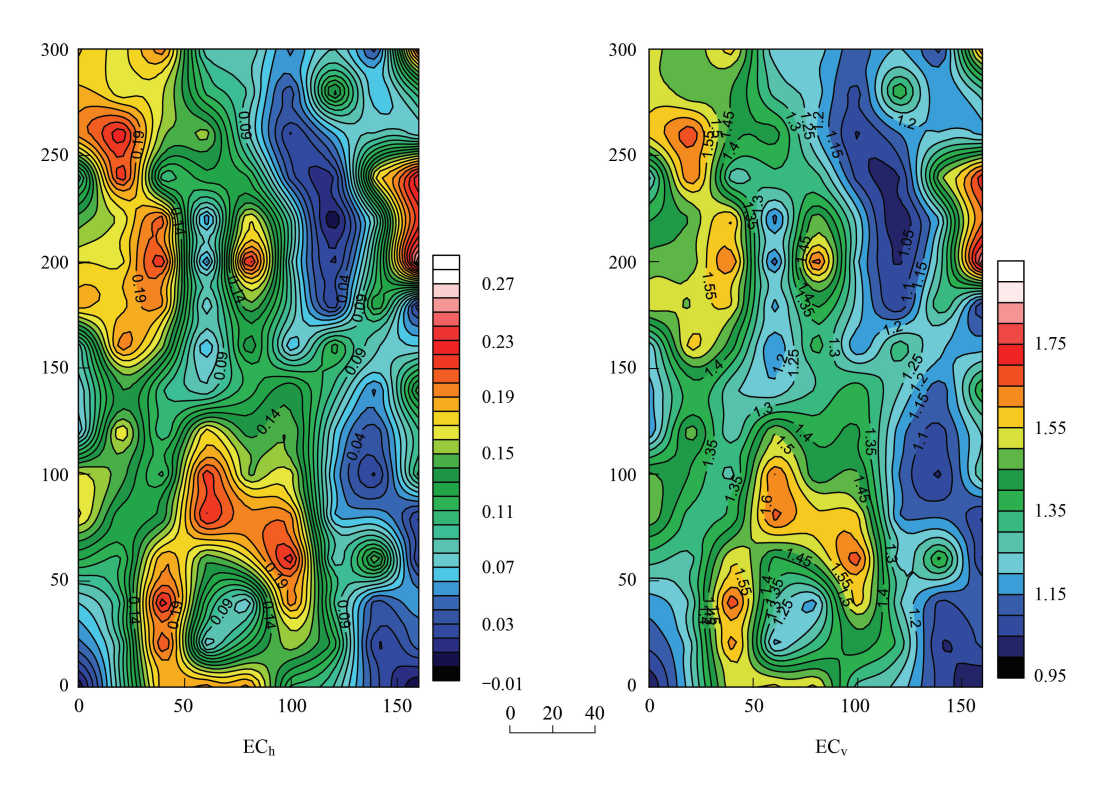


图 1 实验小区土壤表观电导率对数转换后空间分布特征

Fig.1 Maps of kriging estimations of apparent soil electrical conductivity by logarithmic computation

2.3 土壤表观电导率与相关因子分析

2.3.1 土壤表观电导率与土壤盐碱指标相关分析

将水平方向和垂直方向土壤表观电导率与土壤盐碱指标进行 Pearson 分析。土壤盐碱指标包括土壤可溶性盐离子（K^+，Na^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，CO_3^{2-}，HCO_3^-，SO_4^{2-}，Cl^-），$EC_{1:5}$，$pH_{1:5}$，SAR 和 SC，土壤盐碱指标与土壤表观电导率经检验后具有相关性的见表 4。EC_h 和 EC_v 均与盐碱指标呈极显著相关（$P<0.01$）。土壤表观电导率能够反映土壤的盐碱程度，可以用土壤表观电导率来指示土壤盐碱程度，实现土壤盐渍化的快速诊断。比较 EC_v

表 4 土壤表观电导率与土壤盐碱参数的 Pearson 分析

Table 4 Pearson analysis between apparent soil electrical conductivity and salinization parameters

项目 Parameter	$EC_{1:5}$	$pH_{1:5}$	Na^+	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SAR	SC
EC_v	0.831**	0.839*	0.724**	533**	455**	0.838**	0.796**
EC_h	0.907**	0.839**	0.776**	600**	493**	0.889**	0.822*

$EC_{1:5}$（electrical conductivity）：为土∶水＝1∶5 的土壤浸提液电导率（mS/m）；$pH_{1:5}$ 为土∶水＝1∶5 的土壤浸提液 pH 值；SAR（sodium adsorption ratio）：钠吸附比，单位为（mmolc/L）$^{1/2}$；SC（salt content）：可溶性离子总量（mmolc/L）

和 EC_h,结果表明,水平方向土壤表观电导率(EC_h)与盐碱指标相关系数均高于垂直方向土壤表观电导率(EC_v),该结果与其他研究结果是一致的[20]。由于 EM38 水平方式敏感程度在地表最高,土壤表观电导率 EC_h 与近地表层(0—30 cm)的土壤盐碱指标相关性好。因此,在松嫩平原利用 EM38 测定土壤表观电导率,只需采用水平方向土壤表观电导率对土壤进行监测,即可达到指示土壤盐碱程度的目的。

2.3.2　土壤表观电导率与相关因子的回归分析

为了更好的研究土壤表观电导率与土壤盐碱指标的关系,对土壤表观电导率与相关因子进行回归分析。由表 5 可知,EC_h 与 $EC_{1:5}$、$pH_{1:5}$、SAR、SC 和 Na^+ 呈线性分布关系,决定系数范围为 0.6—0.82,具有较好的模拟效果($P=0.000$)。因此,可以利用 EC_h 来计算 SAR、SC、$EC_{1:5}$、$pH_{1:5}$ 和 Na^+ 的值。由表 5 可知,EC_v 与 $EC_{1:5}$、$pH_{1:5}$、SAR、SC 和 Na^+ 也呈线性分布关系,决定系数在 0.5—0.7 之间,具有较好的模拟效果($P=0.000$)。比较 EC_h 和 EC_v 与盐碱指标回归模型的决定系数发现,EC_h 模型的决定系数均大于 EC_v。实际应用中,只需使用 EC_h 来计算表层土壤(0—30 cm)盐碱指标,指示土壤盐碱程度。

表 5　EC_h 与土壤盐碱指标的回归分析

Table 5　Regression model between EC_h and salinization parameters

土壤表观电导率 Apparent soil electrical conductivity	模型 Model	R^2	*Sig*	土壤表观电导率 Apparent soil electrical conductivity	模型 Model	R^2	*Sig*
EC_h	$Na^+=0.1091\ EC_h-0.6489$	0.6025	0.000	EC_v	$Na^+=0.1121EC_v$-1.3793	0.5246	0.000
	$EC_{1:5}=0.0116EC_h-0.0058$	0.8235	0.000		$EC_{1:5}=0.0117EC_v-0.077$	0.6912	0.000
	$SC=0.1578EC_h+2.3571$	0.6749	0.000		$SC=0.1683EC_v+1.1213$	0.633	0.000
	$SAR=0.0975EC_h-0.2799$	0.7908	0.000		$SAR=0.1012EC_h-0.963$	0.703	0.000
	$pH_{1:5}=0034EC_h+8.1821$	0.7044	0.000		$pH_{1:5}=00379\ EC_v+7.8783$	0.7037	0.000

3　讨论与结论

3.1　讨论

EM38 测得的水平方向土壤表观电导率能够指示苏打盐渍化旱田土壤盐碱程度。土壤表观电导率具有空间变异性,表现为不同表观电导率的土壤呈条带状或斑块状镶嵌分布,体现盐渍化旱田土壤盐碱的空间分异特征。松嫩平原盐渍化旱田多数由盐碱退化草地开垦而成的,地表呈现微地貌差异,进而影响到水盐运动和再分配过程,在相对高起的微地形上,同时存在着纵向和横向两个方面的湿度差。根据土壤毛管水由湿度大的土层向湿度小的土层移动规律,微高地上既有毛管上升水流的补给,也有毛管侧向水流的补给,当水分沿土壤毛细管由下而上,由缓坡低处向缓坡高处移动过程中,盐分也随之迁移,并通过蒸发而表聚。蒸发量愈大,水分的补给愈快,盐分积累也愈多[21],成为盐碱化严重区域[22],甚至为雨养旱田内的"光板地";而在地势最低区域为轻度盐渍化和非盐渍化区。因此,调查小区在微高地处土壤盐渍化程度明显高于低地,形成所谓"一步三换土"[23]。松嫩平原旱田土壤盐渍化程度空间异质性,给土壤改良、规模化利用和作物生产带来严重障碍。明确需要改良土壤的面积和比例,是经济、合理、高效利用盐渍化旱田的关键。

将土壤盐分空间变异理论研究与盐碱地改良实践相结合,利用水平方向土壤表观电导率对旱田盐渍化进行评估,有利于实现盐渍化旱田快速低成本改良。不同作物适应盐碱能力不同。对于盐碱化程度较低、空间变异较小的盐渍化旱田,可以利用土壤表观电导率指示不同作物的耐盐碱阈值,针对土壤盐碱程度种植相应作物,是合理利用盐渍化土壤的一种重要方式。对于盐渍化较重、空间变异显著,斑块盐碱程度较重的区域,种植耐盐碱作物无法实现调节,这部分区域应进行定位分区改良,定点清除或降低土壤盐碱,使土壤达到适合作物生长。局部盐碱斑块,由于大量交换性 Na^+ 的存在,导致土壤黏粒分散,土壤渗透性差,且随着交换性 Na^+ 的增加,土壤性质不断恶化,影响作物生长。针对盐碱斑块,最好的方法是加入含有二价阳离子的改良剂,置换土壤中的交换性 Na^+,达到改良目的。当然,种植的作物不同,耐盐碱能力不同,需要改良剂用量也不同。

因此,改良利用此类盐渍化旱田应综合考虑土壤表观电导率、作物、土壤盐碱之间的关系,以期对不同盐渍化程度的区域进行改良,达到作物正常生长,实现精准化管理技术。

3.2 结论

经典统计分析土壤水平方向表观电导率 EC_h 与垂直方向表观电导率 EC_v 均为中度空间变异。地统计分析表明经对数转换后的土壤水平方向表观电导率 EC_h 具有强空间自相关,其变异特征主要是由地形地貌和水文状况等结构性因素引起的;而对数转换后的垂直方向土壤表观电导率 ECv 具有中等的空间相关性,即空间变异是由结构性因素和随机性因素共同影响的。EC_h、EC_v 空间变异的半方差模拟最优模型为球状模型和指数模型。

相关分析和回归分析均表明土壤表观电导率与盐碱指标呈正相关关系($P<0.05$)和线性关系,且 EC_h 测量土壤表观电导率效果好于 EC_v,在生产实践中用 EC_h 能够很好的反映土壤盐碱状况。因此,可以用水平方向土壤表观电导率 EC_h 来计算苏打盐渍化旱田土壤盐碱指标,对土壤盐渍化程度进行评估,指导旱田土壤盐渍化管理。

参考文献(References):

[1] 邓伟, 裘善文, 梁正伟. 中国大安碱地生态试验站区域生态环境背景. 北京: 科学出版社, 2006.

[2] 刘兴土. 松嫩平原退化土地整治与农业发展. 北京: 科学出版社, 2001.

[3] Cemek B, Güler M, Kiliç K, Demir Y, Arslan H. Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Bafra plain in northern Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 124(1-3): 223-234.

[4] Liu G M, Li J B, Zhang X C, Wang X P, Lü Z Z, Yang J S, Shao H B, Yu S P. GIS-mapping spatial distribution of soil salinity for Eco-restoring the Yellow River Delta in combination with electromagnetic induction. Ecological Engineering, 2016, 94: 306-314.

[5] Yang F, Zhang G X, Yin X R, Liu Z J. Field-scale spatial variation of saline-sodic soil and its relation with environmental factors in western Songnen plain of China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2011, 8(2): 374-387.

[6] Wu W Y, Yin S Y, Liu H L, Niu Y, Bao Z. The geostatistic-based spatial distribution variations of soil salts under long-term wastewater irrigation. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186(10): 6747-6756.

[7] 孙运朋, 陈小兵, 张振华, 吴从稳, 颜坤, 张立华, 蒋名亮. 基于 EM38 的滨海棉田土壤表观电导率空间变异与利用研究. 土壤通报, 2014, 45(3): 585-589.

[8] Barbiéro L, Cunnac S, Mané L, Laperrousaz C, Hammecker C, Maeght J L. Salt distribution in the Senegal middle valley: analysis of a saline structure on planned irrigation schemes from N'Galenka creek. Agricultural Water Management, 2001, 46(3): 201-213.

[9] Yao R J, Yang J S, Wu D H, Xie W P, Cui S Y, Wang X P, Yu S P, Zhang X. Determining soil salinity and plant biomass response for a farmed coastal cropland using the electromagnetic induction method. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 119: 241-253.

[10] Corwin D L, Lesch S M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 46(1-3): 103-133.

[11] 吴亚坤, 杨劲松, 杨晓英, 刘广明. 基于 EM38 的封丘县土壤盐渍化调查研究. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 129-133.

[12] 李晓明, 杨劲松, 李冬顺. 基于电磁感应(EM38)典型半干旱区土壤盐分空间变异研究. 土壤通报, 2010, 41(3): 695-699.

[13] 杨建锋, 邓伟, 章光新. 田块尺度苏打盐渍土盐化和碱化空间变异特征. 土壤学报, 2006, 43(3): 500-505.

[14] 孙广友. 松嫩平原古河道农业工程研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 2007.

[15] Lesch S M, Corwin D L, Robinson D A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 46(1-3): 351-378.

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.

[17] Chappell N A, Ternan J L, Bidin K. Correlation of physicochemical properties and sub-erosional landforms with aggregate stability variations in a tropical Ultisol disturbed by forestry operations. Soil and Tillage Research, 1999, 50(1): 55-71.

[18] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 瓦肖尔 G. 土壤特性空间变异性初步研究. 水利学报, 1985, (9): 10-21.

[19] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, Parkin T B, Karlen D L, Turco R F, Konopka A E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.

[20] 杨帆, 安丰华, 王志春, 杨洪涛, 赵长巍. 松嫩平原盐渍化水田土壤表观电导率空间变异研究. 中国生态农业学报, 2015, 23(5): 614-619.

[21] 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1994.

[22] Zhao C W, Xu L, Wang Z C, Wang Y H, Chi C M. Studying soil salinity and its relations with microtopography and vegetation at field scale. Polish Journal of Environmental Studies, 2013, 22(4): 1227-1237.

[23] 赵兰坡, 王宇, 冯君. 松嫩平原盐碱地改良利用——理论与技术. 北京: 科学出版社, 2013.